

Petr JANAS¹, Martin KREJSA² a Vlastimil KREJSA

PROGRAMOVÝ SYSTÉM PROBCALC Z HLEDISKA UŽIVATELE

SOFTWARE PACKAGE PROBCALC ON USER'S POINT OF VIEW

Abstrakt

Metoda Přímého Optimalizovaného Pravděpodobnostního Výpočtu (dále jen POPV) je vyvíjena od roku 2002. V současné době již lze metodou POPV s využitím optimalizačních kroků výhodně řešit značné množství pravděpodobnostních úloh. Pro aplikaci metody POPV je možno použít stále vyvíjený programový systém ProbCalc, do něhož lze relativně jednoduše implementovat analytický transformační model řešené pravděpodobnostní úlohy.

Klíčová slova

Přímý Optimalizovaný Pravděpodobnostní Výpočet, POPV, programový systém ProbCalc, HistOp, HistAn, pravděpodobnostní výpočet, posudek spolehlivosti, pravděpodobnost poruchy, funkce spolehlivosti, náhodné proměnné

Abstract

The development of Direct Optimized Probabilistic Calculation method (DOProC) started in 2002. DOProC applications are processed in ProbCalc – this software is being improved all the time. It is rather easy to implement an analytical transformation model of the specific probabilistic application into ProbCalc. The reliability function under analysis can be expressed in ProbCalc analytically as a sign arithmetic expression or can be expressed using data from the dynamic library.

Keywords

Direct Optimized Probabilistic Calculation, DOProC, software package ProbCalc, HistOp, HistAn, probabilistic calculation, reliability assessment, probability of failure, reliability function, random variable

1 ÚVOD

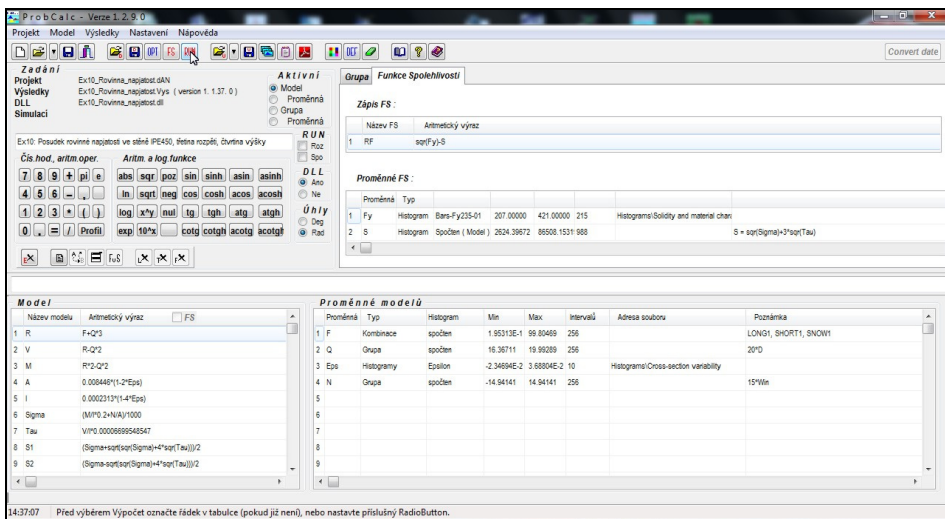
Při vývoji metody POPV postupem času vyvstala potřeba softwarového produktu, jež by umožnil univerzálně definovat jakýkoliv matematický model pravděpodobnostního výpočtu. Výsledkem se stal stále vyvíjený programový systém ProbCalc, jež sestává ze tří samostatných výpočetních modulů, které byly poprvé představeny v [1]. Software byl rovněž prezentován např. na [2, 3, 4].

Programový nástroj HistAn [5] slouží k podrobnější analýze vstupních náhodných veličin, vyjádřených ve formě histogramů. S histogramy je možno provádět základní matematické operace. Např. v případě kombinování zatížení se z těchto matematických úkonů využívá zejména sčítání histogramů jednotlivých typů zatížení. Pro provádění základních aritmetických operací s histogramy byl vytvořen programový prostředek HistOp [6].

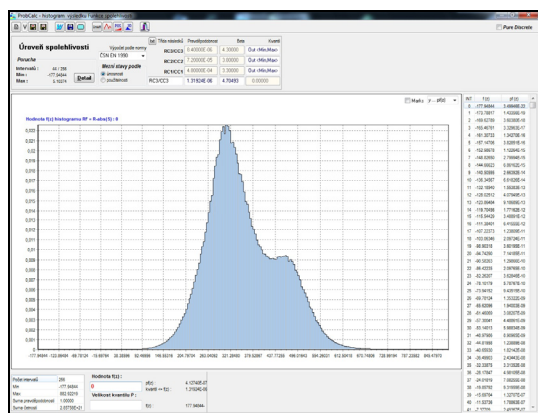
¹ Doc. Ing. Petr Janas, CSc., Katedra stavební mechaniky, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 308, e-mail: petr.janas@vsb.cz .

² Ing. Martin Krejsa, Ph.D., Katedra stavební mechaniky, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 303, e-mail: martin.krejsa@vsb.cz .

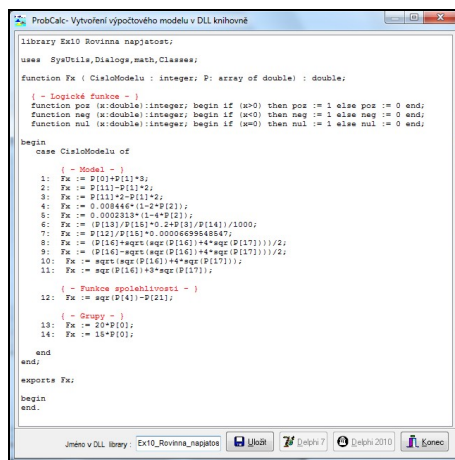
V běžné praxi je s histogramy potřebné provádět i náročnější operace, související s definicí výpočetního modelu. Principiálně se však jedná stále o tytéž výpočetní postupy, jde jen o vytvoření účinného výpočetního nástroje, kde by uživatel byl schopen popsat i složitější výpočtový model - např. v textové podobě. Z tohoto důvodu je od roku 2004 vyvíjen program ProbCalc [7] (obr.1), do kterého byly implementovány všechny možnosti předchozích programových prostředků a jenž umožňuje provádět pravděpodobnostní výpočet zadaného matematického modelu.



Obr.1: Pracovní plocha programu ProbCalc



a) funkce spolehlivosti RF a výsledné výsledné posouzení spolehlivosti



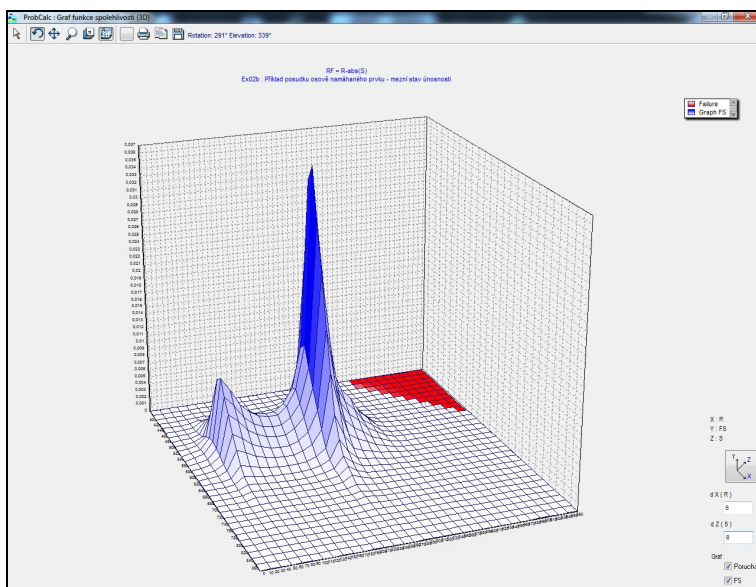
b) Převod definovaného výpočetního modelu z „kalkulačky“ do dynamické knihovny

Obr.2: Dílčí pracovní okna programu ProbCalc

Pokud je předmětem pravděpodobnostního výpočtu posouzení spolehlivosti řešené konstrukce, v programu ProbCalc lze provést výpočet pravděpodobnosti poruchy p_f z analyzované funkce spolehlivosti RF i samotné posouzení podle platných normových předpisů (obr.2.a). K zajímavostem programu však patří i možnost 3D zobrazení analyzované funkce spolehlivosti RF (obr.3), které vede k detailnější analýze řešené pravděpodobnostní úlohy.

Definice matematického modelu může být v programu provedena analyticky formou aritmetického výrazu ve znakové podobě (s využitím tzv. „kalkulačky“) nebo pomocí tzv. dynamické knihovny (soubor s příponou DLL), která může být vytvořena v kterémkoliv programovacím jazyce

(např. Delphi, C++ nebo Fortran). Hlavní výhodou použití dynamických knihoven při pravděpodobnostních výpočtech s využitím programu ProbCalc je možnost definování matematického modelu, který je omezen pouze možnostmi použitého programovacího softwaru (v režimu tzv. „kalkulačky“ je definice matematického modelu limitována použitím maximálně 30 řádků textu). Tímto způsobem lze do výpočetního modelu zakomponovat veškeré programátorské techniky (logická rozhodování, cykly), příp. pro pravděpodobnostní výpočet použít algoritmy numerické analýzy. Pro pravděpodobnostní výpočty s matematickým modelem, který je nadefinován v prostředí tzv. „kalkulačky“ (tedy v textovém režimu), existuje v programu ProbCalc možnost automatického vygenerování zdrojového textu pro vytvoření dynamické knihovny v Delphi (obr.2.b). Po zadání názvu souboru pak lze vygenerovaný text pouze vyvolat v daném programovacím prostředí, překompilovat do strojového kódu a připojit k programu ProbCalc. Tímto způsobem lze docílit cca čtyřnásobného zkrácení strojového času výpočtu (program již nemusí převádět definici matematického modelu z textového režimu do instrukcí strojového kódu).



Obr.3: 3D zobrazení funkce spolehlivosti v programu ProbCalc

Z důvodu zkrácení doby pravděpodobnostního výpočtu byla do vyvíjeného softwaru implementována řada optimalizačních postupů (viz kap. 3), které pracují do značné míry nezávisle na uživateli. Následující kapitoly si kladou za cíl bližší seznámení s programovým systémem ProbCalc z hlediska uživatele.

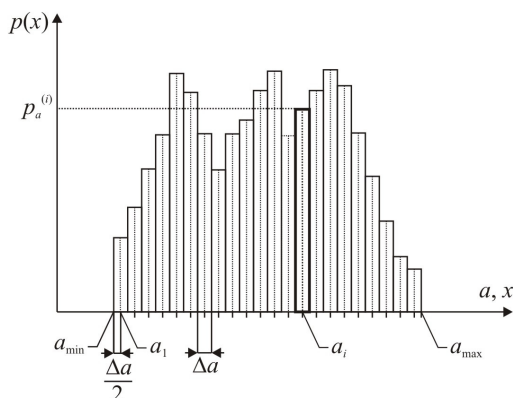
2 VSTUPNÍ NÁHODNĚ PROMĚNNÉ

Do pravděpodobnostního výpočtu, prováděného v programu ProbCalc, mohou být vstupní veličiny vyjádřeny histogramem s neparametrickým (empirickým) rozdělením, které jsou definovány na obr.4 pro diskrétní veličinu, příp. na obr.5 pro čistě diskrétní veličinu.

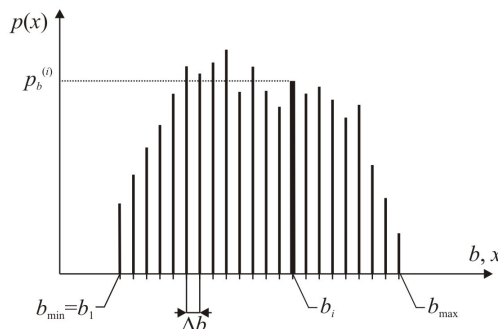
Při pravděpodobnostních výpočtech lze variabilitu vstupních náhodných veličin vyjádřit i histogramem s vhodným parametrickým rozdělením pravděpodobnosti, které připadá v úvahu zejména při nedostatečném množství naměřených hodnot nebo v situacích, kdy nelze danou veličinu změřit, ale jen odhadnout.

V programovém systému ProbCalc lze při tvorbě histogramů parametrická rozdělení pravděpodobnosti diskretizovat (aproximovat) postupem zřejmým z obr.6. Jejich sestavení je možné po zadání potřebných parametrů, požadovaného počtu intervalů (tříd) a veličiny ϵ potřebné k omezení definičního oboru rozdělení pravděpodobnosti spojitě náhodné veličiny (viz obr.6). Tato veličina

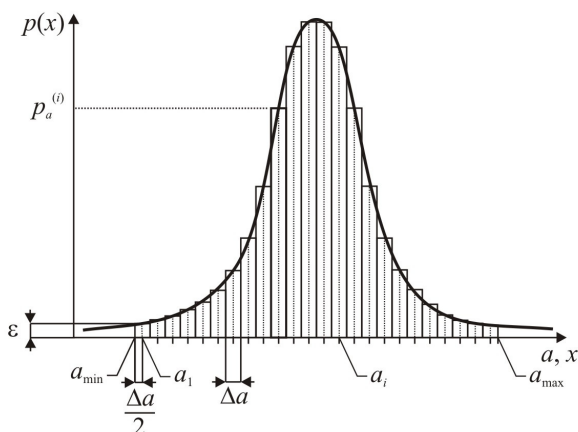
odpovídá pravděpodobnosti v místě tzv. „useknutí“, které se stanoví pro zvolený typ parametrického rozdělení pravděpodobnosti na základě iteračního výpočtu.



Obr.4: Histogram diskrétní náhodné veličiny



Obr.5: Histogram čistě diskrétní náhodné veličiny

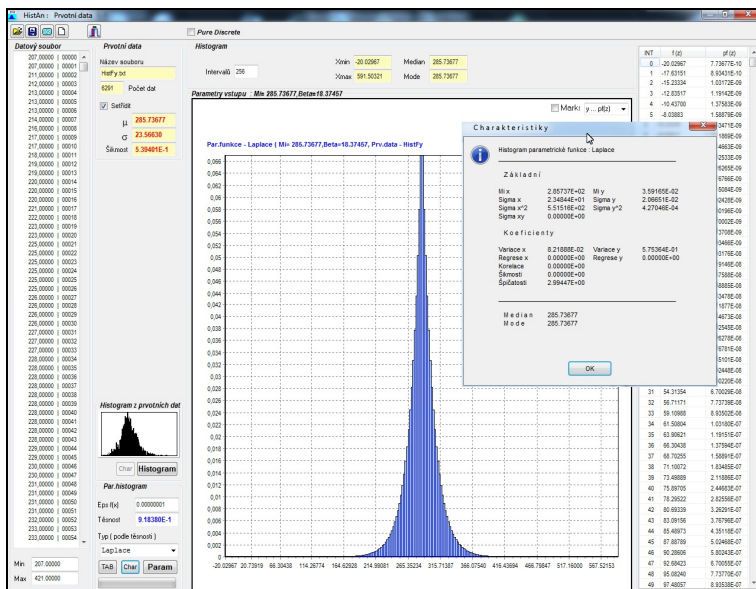


Obr.6: Histogram diskretizované náhodné veličiny s parametrickým rozdělením pravděpodobnosti

Uvedená konstrukce histogramu diskretizované náhodné veličiny s parametrickým rozdělením pravděpodobnosti se může vytvořit automaticky v některém ze tří programů softwarového balíku ProbCalc, kdy při zadávání typu vstupní veličiny uživatel zvolí *Parametrické rozdělení*.

Do programů HistAn, HistOp a ProbCalc byl implementován modul pro vkládání naměřených dat a pro jejich vyhodnocování. Hodnoty uložené v textovém souboru lze v programu načíst, vytvářet z nich histogramy s neparametrickým rozdělením pravděpodobnosti s možností volby počtu intervalů nebo histogramy s rozdělením pravděpodobnosti parametrickým. K dispozici je škála 24 možných typů parametrických rozdělení pravděpodobnosti s možností výběru nejvhodnějšího z nich pro daný soubor získaných či naměřených hodnot. Jako míru vhodnosti křivky hustoty pravděpodobnosti parametrického rozdělení pravděpodobnosti lze použít např. koeficient determinace.

Při posuzování spolehlivosti konstrukcí pravděpodobnostními metodami vstupují do výpočtu většinou nezávislé náhodné veličiny. Některé vstupní veličiny však statisticky závislé být mohou - například průřezové charakteristiky, pevnostní a tuhostní charakteristiky materiálů. Problematické proměnlivých statisticky závislých vstupních veličin byla doposud věnována pozornost zejména u průřezových charakteristik válcovaných profilů, které lze ve výpočtech metodou POPV zadávat pomocí nezávislých veličin, zadaných např. formou histogramů. Přímé zadávání statisticky závislých vstupních veličin při výpočtech metodou POPV jsou ve fázi rozpracování.



Obr.7: Histogram s nejvhodnějším parametrickým rozdělením pravděpodobnosti, sestrojený na základě naměřených hodnot

Historie: Tabulka charakteristik

Charakteristiky prvotních dat

	Mix	Sigma x	Šířnost
	295.73677	23.56630	5.39401E-1

Charakteristiky histogramu prvotních dat

i	Typ	Číselnost	Median	Mode	Mix	Sigma x	Sigma x^2	Miy	Sigma y	Sigma y^2	Sigma xy	Variance x	Regrese x	Variance y	Regrese y	Korelace
1	Prvotní data	1.00000	284.95648	281.52579	285.84725	23.47477	551.06505	1.35314E-2	6.47657E-3	4.19459E-5	-2.70535E-2	8.21235E-02	-4.90931E-05	0.78633E-01	6.44861E+02	-1.77941E-01

Charakteristiky parametrických histogramů

i	Typ	Číselnost	Median	Mode	Mix	Sigma x	Sigma x^2	Miy	Sigma y	Sigma y^2	Sigma xy	Variance x	Regrese x	Variance y	Regrese y	Korelace
1	Laplace	9.18300E-1	281.12557	281.12557	285.73677	23.48437	551.51560	3.91916E-2	2.06651E-2	4.27046E-4	0.00000	8.21888E-02	0.00000E+00	5.75364E-01	0.00000E+00	0.00000E+00
2	Fisher-Tippett	8.00398E-1	284.62354	287.05055	296.04544	23.47423	551.03968	2.31263E-2	9.95263E-3	9.90597E-5	-1.26984E-1	7.90790E-02	-2.57258E-04	4.30331E-01	-1.31129E+00	-5.55972E-01
3	Gumbelova_1	7.98060E-1	283.45150	276.96491	286.28923	23.47424	551.03972	2.21503E-2	9.53197E-3	9.09594E-5	-1.24402E-1	8.19948E-02	-2.57598E-04	4.30331E-01	-1.36918E+00	-5.55972E-01
4	Logistic	7.43188E-1	285.73677	285.73677	285.73677	23.47424	551.03978	2.57904E-2	1.15338E-2	1.33029E-4	0.00000	8.21534E-02	0.00000E+00	4.47214E-01	0.00000E+00	0.00000E+00
5	LogNormal_3P	7.01236E-1	284.74694	280.53858	286.02544	23.47424	551.04002	1.57369E-2	6.30878E-3	3.98006E-5	-4.79686E-2	8.20709E-02	-8.70509E-05	0.00892E-01	1.20521E+00	-3.23903E-01
6	LogNormal_2P	6.78174E-1	285.67191	283.37778	285.98646	23.47424	551.04011	1.36783E-2	5.48159E-3	3.00478E-5	-2.00326E-2	8.21611E-02	-3.63542E-05	3.94978E-01	6.66891E-01	-1.55620E-02
7	Namární	6.25093E-1	285.73677	285.73677	285.73677	23.47424	551.04015	1.33824E-2	5.26356E-3	2.77050E-5	0.00000	8.21534E-02	0.00000E+00	3.93202E-01	0.00000E+00	0.00000E+00
8	Raised-cosine	2.89538E-1	285.73677	285.73677	285.73677	23.47424	551.04009	5.89338E-3	1.95313E-3	3.81470E-06	0.00000	8.21534E-02	0.00000E+00	3.33333E-01	0.00000E+00	0.00000E+00
9	Studentova	2.48495E-1	0.00000	0.00000	0.00000	5.21201	27.16507	4.34574E-1	1.13416E-1	1.28633E-2	0.00000	undefined	0.00000E+00	2.69993E-01	0.00000E+00	0.00000E+00
10	Exponential	1.64418E-1	57.83928	19.33010	98.95554	339.13326	115011.36557	5.62400E-1	2.97817E-1	8.86948E-2	-32.88440	3.44104E+00	-2.89532E-04	5.29537E-01	-3.70759E+02	-3.25598E-01
11	Spencerova	1.20498E-1	500.57650	296.00544	580.74852	284.55886	80973.74640	3.59220E-2	2.07218E-2	4.29391E-4	5.10769	4.89996E-01	6.30782E-05	5.76849E-01	-1.18952E+04	-8.66213E-01
12	Weibull	1.16118E-1	255.53633	160.25793	288.95107	193.23888	37362.52362	1.45934E-2	5.69196E-3	3.23895E-5	8.06446E-1	6.89182E-02	-2.42808E-05	3.90037E-01	-2.79780E+04	-8.23879E-01

Seřadí podle: Číselnost

Close

Obr.8: Tabulka se seznamem nejvhodnějších parametrických rozdělení i jejich parametry

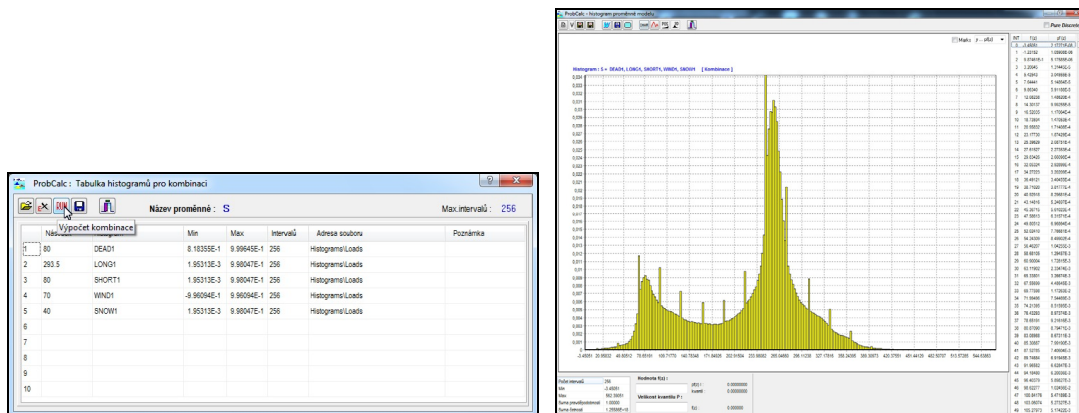
3 OPTIMALIZACE VÝPOČTU V PROGRAMU PROBCALC

Optimalizační techniky, jež byly v metodě POPV vyvinuty, mají za cíl minimalizovat dobu výpočtu, neboť základní algoritmus má jistá omezení daná zejména náročností rozsáhlých úloh, kdy počet výpočetních kroků je velmi vysoký. S jejich využitím lze při aplikaci POPV pravděpodobnost poruchy p_f určit v reálném čase při zachování korektnosti a dostatečné přesnosti řešení i u relativně náročných pravděpodobnostních úloh.

K vyvinutým optimalizačním krokům patří:

- Grupování vstupních proměnných veličin**, které umožňuje eliminovat počet histogramů vstupních veličin tím, že se v situacích, kde je to možné, určí na základě požadované matematické operace jejich výsledný histogram, se kterým se nakonec provede pravděpodobnostní výpočet definovaného výpočetního modelu. Pokud je vytváření společných histogramů vstupních veličin „grupování“ možné a korektní, představuje velmi

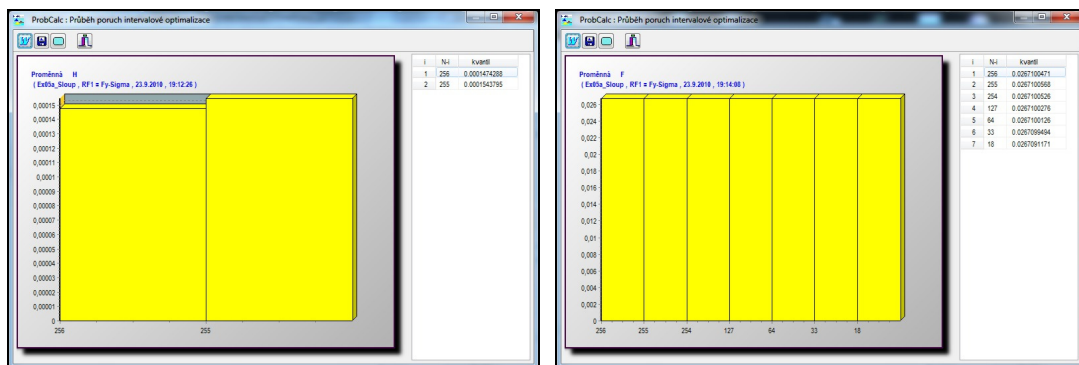
racionální a účinnou optimalizační techniku, která razantně snižuje počet výpočetních operací pravděpodobnostního výpočtu. Nejčastější použití této optimalizační techniky lze hledat zejména ve výpočtu kombinace zatížení (obr.9) nebo tzv. sumárního histogramu pro vyjádření účinku zatížení větru tzv. větrnou růžicí, což lze v jednotlivých modulech programu ProbCalc vyvolat v tabulce vstupních veličin. Pro zadání grupy vstupních veličin s jiným matematickým předpisem, než je součet, je na pracovní ploše programu ProbCalc okno s názvem záložky *Grupy* (např. variabilní průřezová charakteristika).



a) tabulka pro zadání jednotlivých složek zatížení b) histogram kombinace složek zatížení

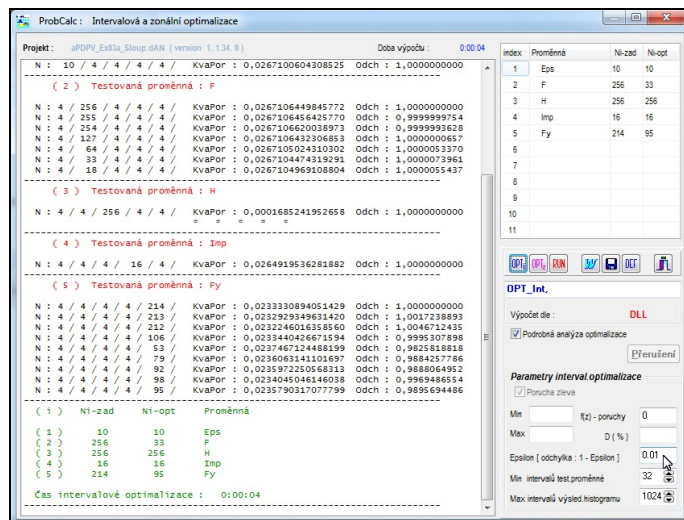
Obr.9: Výpočet kombinace zatížení v programu ProbCalc

b) **Intervalová optimalizace**, u které je smyslem minimalizovat počet tříd v histogramech vstupních veličin, čímž lze docílit snížení početních operací a minimalizovat tak strojový čas pravděpodobnostního výpočtu. Závažnou podmínkou této optimalizační techniky je však zachování dostatečné přesnosti požadovaných výsledků řešení. Při tomto optimalizačním způsobu je nutno ověřit, do jaké míry se zmenšení počtu intervalů projeví na výsledku. Při intervalové optimalizaci se proto provádí citlivostní analýza vlivu jednotlivých vstupních veličin na výsledek. U veličin, které mají citlivost nižší (např. obr.10.b), se zpravidla může počet intervalů snížit výrazněji než u veličin s výraznou citlivostí (např. obr.10.a). Dovolenu odchylku od přesného řešení lze zadat pomocí parametru ε , např. hodnota 0,01 odpovídá odchylce 1% od přesného řešení. Strojový čas, potřebný pro provedení intervalové optimalizace (obr.11), dosahuje řádu sekund.



a) citlivostní analýza náhodné veličiny s velkým vlivem na výslednou pravděpodobnost poruchy p_f b) citlivostní analýza náhodné veličiny s malým vlivem na výslednou pravděpodobnost poruchy p_f

Obr.10: Průběh intervalové optimalizace v programu ProbCalc



Obr.11: Pracovní plocha modulu Intervalové optimalizace v programu ProbCalc

c) **Zónová optimalizace**, kdy se při výpočtu využívá pouze intervalů, jenž se podílejí na hledané hodnotě, např. pravděpodobnosti poruchy p_f konstrukce. V zónální analýze se každý histogram vstupních veličin rozdělí na tzv. „zóny“ (obr.12), které se na vzniku pravděpodobnosti poruchy p_f při všech možných hodnotách v ostatních histogramech:

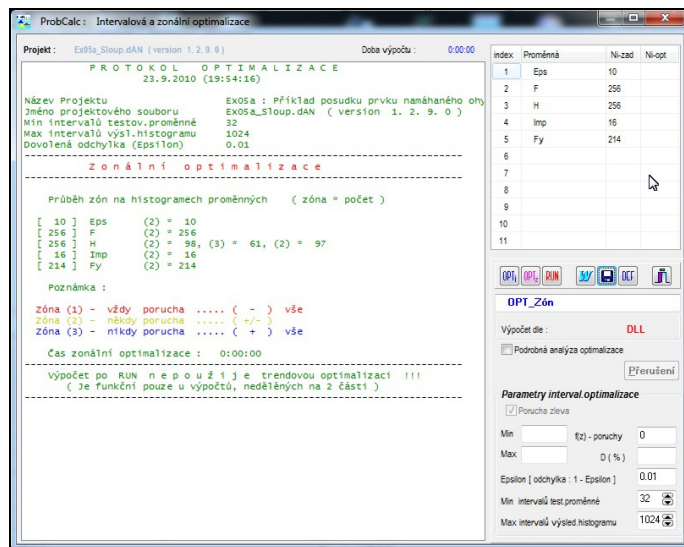
- 1.zóna - intervaly (třídy) histogramů vstupních veličin, které se na pravděpodobnosti poruchy p_f podílejí vždy, tzn. při jakékoliv kombinaci intervalů zbývajících vstupních veličin (v programu ProbCalc je tato zóna označena v histogramu červenou barvou),
- 2.zóna - intervaly (třídy) histogramů vstupních veličin, které se na pravděpodobnosti poruchy p_f mohou, ale nemusejí podílet, tzn. pouze při některých kombinacích intervalů ostatních vstupních veličin (v programu ProbCalc je zóna v histogramu označena žlutě),
- 3.zóna - intervaly (třídy) histogramů vstupních veličin, které se na pravděpodobnosti poruchy p_f nepodílejí nikdy, a proto lze tedy při určování pravděpodobnosti poruchy p_f tuto část histogramu vynechat úplně (v programu ProbCalc je zóna v histogramu označena modře).

Znalost zón umožňuje z hlediska strojového času efektivnější výpočet pravděpodobnosti poruchy p_f , která se pak skládá ze dvou hodnot:

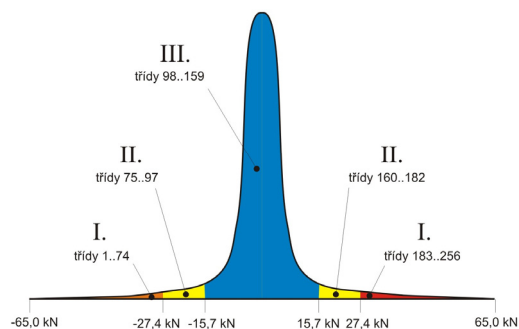
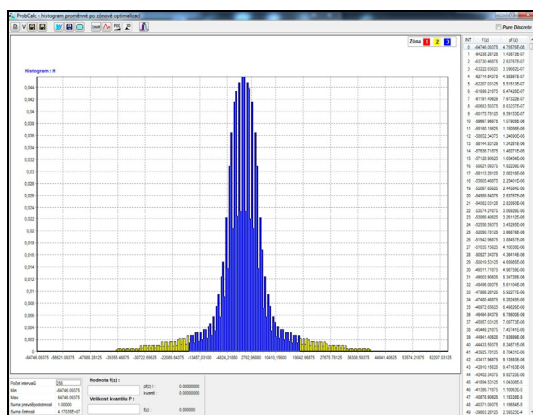
$$p_f = p_{f,1} + p_{f,2} \quad (1)$$

kde $p_{f,1}$ je součet všech pravděpodobností v intervalech zóny 1 analyzovaného histogramu. (pokud tato zóna existuje, pravděpodobnosti intervalů zóny 1 se na pravděpodobnosti poruchy p_f podílejí ve všech případech), $p_{f,2}$ představuje část (porucha může vzniknout, ale nemusí) pravděpodobnosti poruchy p_f vznikající v intervalech částí daného histogramu, která spadá do zóny 2 (pravděpodobnosti intervalů zóny 3 se na pravděpodobnosti poruchy p_f nepodílejí).

d) **Trendová optimalizace**, jež při výpočtu zohledňuje vhodný směr (trend) v algoritmu pravděpodobnostního výpočtu, Spuštění této optimalizační techniky se provádí automaticky se zónovou optimalizací, pokud je v roletě *Nastavení* programu ProbCalc zaškrtnuta položka *Trendová optimalizace*. V souvislosti se zónovou optimalizací se provádí výpočet pouze u intervalů zóny typu 2, označených žlutou barvou. Pokud je u náhodné proměnné zaznamenán trend, že se s měnící hodnotou dané proměnné zvyšuje výsledná kladná hodnota funkce spolehlivosti, provedení dalších výpočetních kombinací dané veličiny je již zbytečné. Pro takovou veličinu již nemůže funkce spolehlivosti dosáhnout záporných hodnot a nemůže tak ovlivnit pravděpodobnost poruchy p_f . Tímto způsobem se dá počet všech výpočetních kombinací eliminovat jen na nejnutnější počet.



Obr.12: Pracovní plocha modulu Zónové optimalizace v programu ProbCalc

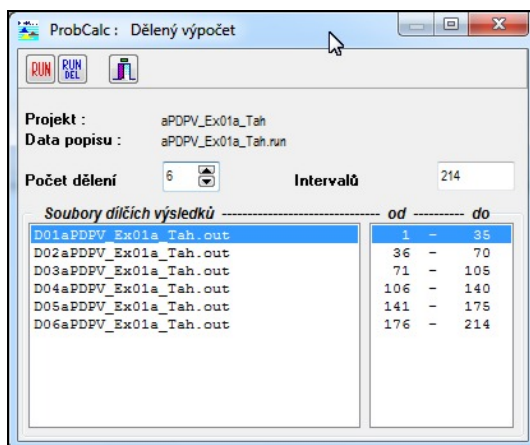


a) vykreslení zón analyzovaného histogramu b) schematické vyjádření podstaty zónové analýzy

Obr.13: Grafické znázornění výsledků zónové analýzy

- e) **Grupování dílčích výsledků výpočtu** slouží k snížení výpočetních operací při závěrečném zhodnocení histogramů veličin, které vzešly z vyřešeného výpočetního modelu. V případě pravděpodobnostních posudků spolehlivosti bude tuto grupu definovat funkce spolehlivosti RF , do které se budou dosazovat vypočtená odolnost konstrukce R a účinek zatížení S . V některých případech lze do této grupy zadat přímo histogram vstupní veličiny (např. pevnostní charakteristika použitého materiálu, pokud se posudek spolehlivosti provádí na úrovni napětí a daná veličina již jinak nevstupuje do výpočetního modelu, nebo limitní průhyb v případě posudku podle mezního stavu použitelnosti).
- f) **Paralelizace výpočtu**, kdy výpočet probíhá současně na několika procesorech či jádrech. V základním algoritmu metody POPV je možno rozdělit objem výpočetních operací na tolik částí, kolik je k dispozici výpočetních jednotek, a po provedení dílčích výpočtů lze z dílčích výsledků poskládat histogram výsledné veličiny, např. funkce spolehlivosti RF při pravděpodobnostním posouzení. Samostatným programem ProbCalcDV se tyto samostatné části spočtou a nakonec se programem ProbCalc výsledky jednotlivých částí spojí v celek. Je třeba pouze v základním okně zaškrtnout políčko *RUN - Roz* v případě rozdělení výpočtu na předpokládaný počet částí nebo *RUN - Spo* při jejich spojení. V obou případech je potřeba

provést stejné pracovní operace do okamžiku spuštění výpočtu tlačítkem *Run*, tzn., že je již nutné mít provedené výpočty kombinací, sumárních histogramů nebo grup vstupních veličin. V případě výpočtů s intervalovou nebo zónovou optimalizací je potřebné jejich provedení před samotným dělením výpočtu, což se u následného spojování již nemusí provádět (nicméně není na závadu). Paralelizace v rámci programu ProbCalc byla zatím odzkoušena na počítačích se dvěma procesory.



Obr.14: Modul programu ProbCalc, umožňujícím řešit pravděpodobnostní úlohy odděleně

g) **Kombinace uvedených optimalizačních postupů.** Uvedené optimalizační techniky již byly postupně implementovány do programu ProbCalc, kde je lze rovněž při pravděpodobnostním výpočtu vzájemně kombinovat. Počet výpočetních operací a tedy i výsledný strojový čas výpočtu může v programu ProbCalc do jisté míry ovlivnit také uživatel při zadávání výpočetního modelu. Doporučená posloupnost optimalizačních postupů v programu ProbCalc je proto následující:

1. **Grupování vstupních i výstupních veličin**, které se doporučuje použít podle možností vždy,
2. **Intervalová optimalizace** – doporučuje se minimalizovat počet tříd histogramů zejména při odlaďování algoritmu výpočtu, následně pak počet tříd histogramů optimalizovat pro dosažení korektního výsledku,
3. **Ostatní optimalizační postupy**, které se mohou použít podle možností a složitosti úlohy.

4 ZÁVĚR

Metoda POPV se jeví jako velice efektivní prostředek pro získání řešení, zatíženého pouze numerickou chybou a chybou danou diskretizací vstupních a výstupních veličin. V případě pravděpodobnostního posouzení spolehlivosti konstrukcí vede pravděpodobnostní výpočet metodou POPV k přímému vyjádření pravděpodobnosti poruchy p_f , kterou lze porovnat s návrhovou pravděpodobností p_d , definovanou v současně platných normových předpisech.

Programový systém ProbCalc, aplikující metodu POPV, umožňuje bohaté uplatnění v pravděpodobnostních úlohách technické praxe. S využitím zmínovaných optimalizačních postupů lze při aplikaci POPV určit pravděpodobnost poruchy p_f v reálném čase při zachování korektnosti a dostatečné přesnosti řešení i u relativně náročných pravděpodobnostních úloh.

V situacích, kdy pravděpodobnost poruchy p_f dosahuje nulové hodnoty (konstrukce je nadměrně spolehlivá), případně se rovná 1 (všechny kombinace vstupních veličin vedou k poruchovému stavu), odhadne metoda POPV výsledek okamžitě a nemusí se provádět další pravděpodobnostní výpočet.

Software ProbCalc v odlehčené verzi je ke stažení na [8].

PODĚKOVÁNÍ

Příspěvek byl realizován za finančního přispění Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy ČR, projekt 1M0579, v rámci činnosti Centra integrovaného navrhování progresivních stavebních konstrukcí CIDEAS.

LITERATURA

- [1] JANAS, P. & KREJSA, M. & KREJSA, V. Aplikace přímého determinovaného pravděpodobnostního výpočtu v programu ProbCalc. In *Sborník abstraktů VII. konference s mezinárodní účastí Staticko-konstrukční a stavebno - fyzikální problémy stavebních konstrukcí*. Štrbské pleso, Vysoké Tatry, Slovensko, 23. až 25. listopad 2005, pp. 31-32. ISBN 80-7099-742-7 a ISBN 80-8073-404-6 (CD-ROM).
- [2] JANAS, P. & KREJSA, M. & KREJSA, V. Posuzování spolehlivosti konstrukcí v programovém systému ProbCalc. In *Sborník vědecko-technického sympozia Polsko-Czeskie Sympozjum Naukowo-Techniczne*. Opole, Polsko, 31. březen až 1. duben 2006, pp 87-92. ISBN 83-923680-0-2.
- [3] JANAS, P. & KREJSA, M. & KREJSA, V. Softwarové prostředky pro aplikaci PDPV. In *Sborník příspěvků II. celostátní konference PPK2006 - Pravděpodobnost porušování konstrukcí*. VUT V Brně, Stavební fakulta, 3. až 4. říjen 2006, pp 239-246. ISBN 80-214-3251-9.
- [4] JANAS, P. & KREJSA, M. Softwarová aplikace Přímého Determinovaného Pravděpodobnostního Výpočtu (PDPV). In *Sborník rozšířených abstraktů odborné konference IDEAS 09*. VŠB-TU Ostrava, Stavební fakulta, 5. až 6. listopad 2009, pp 19-20 rozšířený abstrakt, pp 27-36 plné znění na CD-ROM. ISBN 978-80-248-2016-3 a 978-80-01-04449-0 (CD-ROM).
- [5] JANAS, P. & KREJSA, M. & KREJSA, V. *Software HistAn [EXE] - Histogram Analysis*. Autorizovaný software, Lite verze 1.1, 2,8 MB. Ev.č. 004/27-01-2009_SW. VŠB-TU Ostrava, 2008.
- [6] JANAS, P. & KREJSA, M. & KREJSA, V. *Software HistOp [EXE] - Basic Operations with Histograms*. Autorizovaný software, Lite verze 1.1, 7,5 MB. Ev.č. 002/27-01-2009_SW. VŠB-TU Ostrava, 2008.
- [7] JANAS, P. & KREJSA, M. & KREJSA, V. *Software ProbCalc [EXE] - Program System for Probabilistic Reliability Assessment using DDFPM method*. Autorizovaný software, Lite verze 1.1, 12,4 MB. Ev.č. 003/27-01-2009_SW. VŠB-TU Ostrava, 2008.
- [8] JANAS, P. & KREJSA, M. & KREJSA, V. *ProbCalc software a publikace věnované metodě POPV*. Webové stránky. [on-line]. <<http://www.fast.vsb.cz/popv>>. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2004-2010.
- [9] KRÁLÍK, J. Riešenie spoľahlivosti konštrukcií metódou SFEM. In *Spolehlivost konstrukcí*. ÚTAM AV ČR, Praha, 2009. (16p), ISBN 978-80-02-02132-2.

Oponentní posudek vypracoval:

Assoc. prof. Ing. Juraj Králik, PhD., Stavební fakulta STU Bratislava